Journal of Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 1, 2024, p. 63-77

Effect of Temperature and Drought Stress on Germination Characteristics and Determination of Cardinal Temperatures of Invasive Weed Herb-Robert (*Geranium robertianum* L.)

A. Jalili[1], E. Izadi Darabandi[2*], M. Rastgoo[2], E. Ebrahimi[3]

1 and 2- Ph.D. Student of Weed Science and Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Fredowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
3- Ph.D. in Weed Science, Agricultural Management of Ghochan, Ghochan, Iran
(*- Corresponding Author Email: e-izadi@um.ac.ir)

Received: 18-10-2022 Revised: 17-01-2023 Accepted: 30-01-2023 Available Online: 30-01-2023	**How to cite this article:** Jalili, A., Izadi Darbandi, E., Rastgoo, M., & Ebrahimi, E. (2024). Effect of temperature and drought stress on germination characteristics and determination of cardinal temperatures of invasive weed Herb-Robert (*Geranium robertianum* L.). *Journal of Iranian Plant Protection Research, 38*(1), 63-77. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.2023.78579.1103

Introduction

Seed germination is the first and most important stage of plant establishment and subsequent successful competition, which is affected by genetic and environmental factors. Temperature and soil water potential are the most important environmental factors. Knowledge of environmental factors controlling seed germination provides the possibility of predicting weed infestation. By obtaining information about the temperature and moisture requirements of weeds, it is possible to manage them successfully. In recent years, the weed of herb-robert has been raised as an invasive weed in rapeseed fields in Mazandaran and Golestan provinces. To investigate the relationship between temperature and germination rate, various cardinal models such as dent-like, segmented, and beta have been used. The purpose of this research is to determine cardinal temperatures in herb-Robert and investigate the role of temperature and drought stress on some of its germination characteristics.

Materials and Methods

To investigate the effect of temperature and drought stress on the germination of herb-Robert (*Geranium robertianum* L.) seeds, this study was conducted as a factorial experiment within a completely randomized design. The experiment included 8 levels of constant temperature (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 °C) and drought stress in 6 levels (-0.2, 4 -0.0, -0.6, -0.8, -1 MPa) with 4 replications. Germinated seeds were counted up to 14 days after germination. Then indicators such as percentage, germination rate and time to reach 50% germination were calculated. A dent-like regression model was used to determine the cardinal temperature.

Results and Discussion

The results showed that the constant temperature of 20°C has the highest percentage (98%) and germination rate (6.019) under non-stress conditions (zero water potential). Also, germination was stopped at temperatures of 35 and 40 °C. The three-parameters regression model had good accuracy to describe the trend of cumulative seed

https://doi.org/10.22067/jpp.2023.78579.1103

germination percentage of herb-Robert. The results also showed that with the increase of drought stress, the percentage and rate of germination decreased and at potentials higher than -0.8 MPa, germination stopped. At zero potential (non-stress conditions), the minimum, first optimum, second optimum and maximum temperatures were determined as 1.12, 18.83, 22.76 and 35.09 °C, respectively. With an increase from zero to water potential up to -0.8 MPa, minimum temperature from 1.12 to 4.96, optimal temperatures from 18.83 to 22.76 to 10.51 to 20.63 and maximum temperature from 35.09 changed to 34.48 °C. The results showed that, in each osmotic potential, with increasing temperature, the time to reach 50% germination decreased. On the other hand, with the increase in osmotic potential, this time increased, which indicates a decrease in germination speed. In general, the time to reach 50% germination from 0 to 0.4 MPa potentials started from 6 days and decreased to 3 days. While at higher potentials (-0.6 and -0.8 MPa) it varies in the range of 6 to 8 days. These results indicate that the germination ability of herb-Robert increases in the temperature range of 15 to 20 degrees Celsius at any water potential. Based on the results of this experiment, there was no germination at the osmotic potential of 1 MPa. In general, wild geranium is more tolerant to moderate drought stress (up to -0.6 MPa) in the temperature range of 17 to 22 degrees Celsius, and with increasing drought stress, at lower temperatures (10 to 20 degrees Celsius) its presence will be more.

Conclusion

Based on the results of this study, the highest percentage and rate of seed germination occurred at 20°C. There was no seed germination at temperatures of 35 and 40 °C and water potential of -1 MPa. With the increase of water potential, the minimum temperature increased, the optimal temperatures decreased and the maximum temperature decreased slightly. In general, due to the low minimum temperature, the probability of germination and outbreak of this weed will be higher in colder seasons.

Keywords: Dent-like model, Germination rate, Optimal temperature

نشریه پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸ شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص. ۷۷-۶۳

اثر دما و تنش خشکی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و دماهای کاردینال علف‌هرز مهاجم شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*)

عبدالله جلیلی[1]- ابراهیم ایزدی دربندی[2]*- مهدی راستگو[2]- اسماعیل ابراهیمی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۰

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر دما و تنش خشکی بر جوانه‌زنی بذر علف‌هرز شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*) آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۸ سطح دمای ثابت (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ درجه سانتی‌گراد) و ۶ سطح تنش خشکی (۰، ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۶-، ۰/۸-، ۱- مگاپاسکال) در ۴ تکرار انجام شد. برای اعمال تنش خشکی از پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ استفاده شد. در این آزمایش، از پتری‌دیش‌های حاوی کاغذ صافی واتمن با قطر ۷ سانتی‌متر استفاده و در هر پتری ۲۵ بذر قرار گرفت. سپس پتری‌دیش‌ها در ژرمیناتور در معرض تیمارهای دمایی ذکر شده و رژیم روشنایی (۱۴ ساعت روشنایی ۲۵۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) قرار گرفتند. برای تحلیل نتایج آزمایش از شاخص‌هایی مانند درصد، سرعت جوانه‌زنی و مدت زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی استفاده شد. برای تعیین دمای کاردینال از مدل رگرسیونی دندانه‌ای استفاده شد. نتایج نشان داد که شمعدانی وحشی در دمای ثابت ۲۰ درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین درصد (۹۸ درصد) و سرعت جوانه‌زنی (۶/۰۱۹ بذر در روز) در شرایط بدون تنش (پتانسیل آب صفر) بود. همچنین در دماهای ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی متوقف شد. مدل رگرسیونی سه پارامتره از دقت خوبی جهت توصیف روند درصد جوانه‌زنی تجمعی شمعدانی برخوردار بود. براساس نتایج آزمایش با افزایش تنش خشکی (تا ۰/۸- مگاپاسکال)، درصد و سرعت جوانه‌زنی به طور معنی‌داری کاهش و در ۱- مگاپاسکال، جوانه‌زنی متوقف شد. در پتانسیل صفر (شرایط بدون تنش) دمای کمینه، بهینه اول، بهینه دوم و بیشینه به ترتیب ۱/۱۲، ۱۸/۸۳، ۲۲/۷۶ و ۳۵/۰۹ درجه سانتی‌گراد تعیین شد و با افزایش پتانسیل اسمزی تا ۰/۸- مگاپاسکال، دمای کمینه از ۱/۱۲ به ۴/۹۶ درجه سانتی‌گراد، دماهای بهینه اول از ۱۸/۸۳ تا ۲۲/۷۶ درجه سانتی‌گراد و دماهای بهینه دوم از ۱۰/۵۱ تا ۲۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد و دمای بیشینه از ۳۵/۰۹ به ۳۴/۴۸ درجه سانتی‌گراد تغییر یافت. با توجه به نتایج آزمایش، جوانه‌زنی شمعدانی وحشی در محدوده‌های دمایی ۱۷ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد متحمل به تنش‌های خشکی متوسط (۰/۶- مگاپاسکال) می‌باشد. به‌طور کلی، با توجه با پایین بودن دمای کمینه، احتمال جوانه‌زنی و طغیان این علف‌هرز در فصول سردتر، بیشتر خواهد بود و با توجه به کاهش جوانه‌زنی به تنش خشکی، می‌توان کاشت گیاهان زراعی متحمل به خشکی را در برنامه‌های مدیریتی قرار داد.

واژه‌های کلیدی: دمای بهینه، سرعت جوانه‌زنی، مدل دندانه‌ای

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری علوم علف‌های هرز و استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳- دکتری علوم علف‌های هرز، جهاد کشاورزی شهرستان قوچان، قوچان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: e-izadi@um.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jpp.2023.78579.1103

مقدمه

حضور گیاهان خارجی غیربومی به‌عنوان گیاهان مهاجم به نواحی جدید اهمیت زیادی دارد و یکی از چالش‌های مهم جهانی است (Zhou *et al.*, 2006). خانواده شمعدانی با دارا بودن علف‌های هرز یکساله و چندساله از خانواده‌های گیاهی است که به‌خصوص در نواحی معتدله و گرمسیری جهان پراکنش دارند. این خانواده دارای ۷ جنس و ۷۵۰ گونه می‌باشد (Keshavarz *et al.*, 2013). در سال‌های اخیر علف‌هرز شمعدانی برگ‌بریده (*Geranium dissectum*) در مزارع کلزا در استان مازندران و گلستان مهاجم شده است (Sohrabi *et al.*, 2017). بذر این علف‌هرز دارای خواب فیزیکی بوده و خراش‌دهی، قرار گرفتن در عمق خاک و گذشت زمان در رفع خواب آن مؤثر می‌باشد (Sohrabi *et al.*, 2017). با این حال گونه دیگر از این جنس با نام علمی *Geranium robertianum* نیز در مزارع کلزای استان گلستان مشاهده شده است، اما اطلاعات چندانی در مورد زیست‌شناسی آن وجود ندارد.

جوانه‌زنی مرحله‌ای بحرانی در زیست‌شناسی و چرخه زندگی گیاهان و علف‌های هرز است و اغلب پویایی جمعیت را کنترل می‌کند (Kamkar *et al.*, 2008). این فرآیند فیزیولوژیکی تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند دما، رطوبت و نور قرار می‌گیرد که در این میان دما تأثیر مهمی دارد (Kamkar *et al.*, 2008). پی بردن به الگوی جوانه‌زنی و سبزشدن گونه‌های مختلف علف‌هرز می‌تواند اطلاعات جامعی برای توسعه روش‌های مدیریت علف‌هرز درآینده فراهم کند (Chauhan *et al.*, 2006). دما مهم‌ترین عاملی است که سرعت نمو گیاهان و علف‌های هرز (از جمله سرعت جوانه‌زنی) را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اثرات دما روی نمو گیاهان، اساس مدل‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی است (Kamkar *et al.*, 2012). دما، از عوامل مؤثر بر ویژگی‌های جوانه‌زنی مانند شروع، مقدار و سرعت جوانه‌زنی می‌باشد. از این رو، دما عامل بسیار مهمی بر استقرار گیاهان است (Jami-AlAhmadi & Kafi, 2007; Bradford, 2002). دمای کمینه[1]، دمای بهینه[2]و دمای بیشینه[3] سه دمای اصلی فرآیند جوانه‌زنی هستند. دماهای کمینه (دمای پایه) و بیشینه (دمای سقف)، دماهایی هستند که به‌ترتیب کمتر و بیشتر از آن‌ها جوانه‌زنی اتفاق نمی‌افتد، درحالی‌که دمای بهینه دمایی است که در آن سرعت جوانه‌زنی به بیشترین میزان خود می‌رسد (Alvardo & Bradford, 2022). شناسایی دماهای کاردینال جوانه‌زنی، یکی از نیازمندی‌های اصلی برای کنترل به موقع علف‌های هرز است، چرا که توانایی پیشگویی زمان خروج گیاهچه‌های علف‌های هرز می‌تواند در تعیین زمان مطلوب عملیات کنترل علف‌های‌هرز، توسعه کارایی روش‌های کنترل، کاهش استفاده از علف‌کش از طریق مدیریت تلفیقی علف‌های‌هرز مؤثر باشد (Buhler, 2000). محاسبه دماهای کاردینال جوانه‌زنی بر طبق ترسیم روند سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما روشی مرسوم به‌حساب می‌آید (Kiyani, 2014). پژوهش‌های زیادی در زمینه برآورد دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر علف‌های هرز انجام شده است. برای نمونه، نتایج تحقیقی به‌منظور تعیین درجه حرارت‌های کاردینال جوانه‌زنی چندین گونه علف‌هرز نشان داد که برای هویج وحشی (*Daucus carota* L.) دمای پایه (۱/۶۷)، دمای بهینه (۲۲/۸۴)، دمای بیشینه (۴۳/۱۶)، برای گندمک (*Stellaria media* (L.) Vill.) دمای پایه (۳/۵۸)، بهینه (۱۹/۶۷-۱۸/۸۲)، بیشینه (۴۲/۷۵)، برای دم روباهی زرد (*Setaria glauca* (L.) P. Beauv) دمای پایه (۱۴/۱۷)، بهینه (۳۴/۹۲-۳۳/۷۵)، بیشینه (۴۴/۸۶) و برای دم اسب (*Conyza canadensis* (L.) Cronq) (دمای پایه) ۱۳/۷۴، بهینه (۳۱/۹۴-۳۱/۷۳)، بیشینه (۴۴/۲۱) درجه سانتی‌گراد بود (Diayanat, 2019). همچنین، دمای پایه، بهینه و بیشینه گونه‌ای خشخاش(*Papaver somniferum* L.) به‌ترتیب ۳/۰۲، ۲۷/۳۶، ۳۶/۳۱ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Kamkar *et al.*, 2012). در آزمایش دیگری، دمای پایه، بهینه و حداکثر علف‌هرز نیلوفرپیچ (*Ipomoea triloba* L.) به‌ترتیب ۹، ۲۱ و ۲۷ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است (Rizzardi *et al.*, 2009). به‌منظور تعیین درجه حرارت‌های کاردینال جوانه‌زنی علف‌هرز جارو (*Bassia scoparia* L.) عنوان شده است که این گیاه در دامنه وسیعی از دمای ۳/۵ درجه سانتی‌گراد (دمای کمینه) تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد (دمای بیشینه) قادر به جوانه‌زنی می‌باشد و دمای بهینه جوانه‌زنی آن ۲۴ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Jami-AlAhmadi & Kafi, 2007).

با توجه به اهمیت پراکنش گیاه مهاجم شمعدانی وحشی در مزارع کلزا استان مازندران و گلستان و از آن‌جایی که اطلاعاتی در خصوص ویژگی‌های جوانه‌زنی و دماهای کاردینال این گیاه مهاجم در دسترس نمی‌باشد، این مطالعه با هدف بررسی جنبه‌هایی از ویژگی‌های جوانه زنی بذر شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*) تحت تأثیر دما و تنش خشکی و تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی آن انجام شده است.

1- Base Temperature
2- Optimum Temperature
3- Ceiling Temperature

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ سطح دمای ثابت (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ درجه سانتی‌گراد) و تنش خشکی در ۶ سطح (۰، ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۶-، ۰/۸-، ۱- مگاپاسکال) در ۴ تکرار انجام شد. بذرها از یک مزرعه کلزا واقع در استان گلستان جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل و به‌مدت ۶ ماه در یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. آزمایش‌های مقدماتی حاکی از عدم وجود خواب بذر بعد از ۶ ماه بود. برای شروع آزمایش، بذرها به‌مدت ۱ دقیقه با محلول ۵ درصد هیپوکلریت سدیم ضدعفونی و سپس با آب مقطر شسته شدند. در این آزمایش، از پتری‌دیش‌هایی حاوی کاغذ صافی واتمن با قطر ۷ سانتی‌متر استفاده و در هر پتری ۲۵ بذر قرار گرفت. پتری‌دیش‌ها در ژرمیناتور در معرض تیمارهای دمایی ذکر شده و رژیم روشنایی (۱۴ ساعت روشنایی ۲۵۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) قرار گرفتند. در طی آزمایش، کاغذ صافی درون پتری‌دیش‌ها روزانه با آب مقطر، مرطوب نگه داشته شد. جوانه‌زنی به صورت روزانه تا ۱۴ روز شمارش و معیار جوانه‌زنی خروج قابل رویت ریشه‌چه‌ها (کمتر از یک میلی‌متر) پوشش بذر بود (Deng & Cornu, 1992).

پتانسیل‌های مختلف آب براساس فرمول میچل و کافمن و با استفاده از پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ تهیه و برای سطوح تنش خشکی شاهد نیز از آب مقطر استفاده شد. به‌منظور تهیه پتانسیل‌های مختلف اسمزی از معادله ۱ استفاده شد (Michel & Kaufmann, 1973).

$$\Psi= - (1.18 \times 10 - 2)\, C - (1.18 \times 10 - 4)\, C\, 2 + (2.67 \times 10 - 4)\, CT + (8.39 \times 10 - 7)\, C\, 2\, T \qquad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله Ψ پتانسیل اسمزی، C مقدار پلی‌اتیلن گلایکول بر حسب گرم بر لیتر و T دما بر حسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

در کلیه تیمارهای دمایی برای هر تکرار منحنی درصد جوانه‌زنی تجمعی در مقابل زمان (روز) ترسیم و مدل رگرسیونی سه پارامتره لجستیک (معادله ۲) برازش داده شد.

$$G=G_{max}/(1+(X/X_{50})^{b}) \qquad (۲)$$

در این معادله، G: درصد جوانه‌زنی، G_{max}: حداکثر درصد جوانه زنی، X_{50}: زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی، b: شیب معادله و X: زمان می‌باشند.

سرعت جوانه‌زنی (GR) نیز به روش ماگویر (Maguire, 1962) و با استفاده از معادله ۳ محاسبه گردید.

$$GR=\Sigma_{i=1} Ni/Ti \qquad (۳)$$

در این معادله Ni تعداد بذور جوانه‌زده در هر شمارش و Ti تعداد روز شمارش تا روز n بود.

برای تعیین دماهای کاردینال از مدل رگرسیونی مدل دندانه‌ای (Dent-like) (Torabi, 2003) برای رابطه بین دما و سرعت جوانه زنی (بذر در روز) استفاده شد (معادله ۴).

$$T \le To_1 < f(T) = ((T-Tb)/(To_1-Tb)) \text{ if } Tb \qquad (۴)$$
$$f(T) = ((Tc-T)/(Tc-To_2)) \text{ if } To_2 < T \le T$$
$$\text{if } To_1 < T \le To_2 \;\; f(T) = 1$$
$$\text{if } T \le Tb \text{ or } T \ge Tc \;\; f(T) = 0$$

دراین مدل، $f(T)$: سرعت جوانه‌زنی، T_b دمای پایه، T_{01} دمای بهینه اول، T_{02} دمای بهینه دوم و T_C: دمای بیشینه می‌باشند. جهت تحلیل نتایج حاصل، آنالیز واریانس داده‌های حاصل و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (FLSD) در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار آماری مینی‌تب ۱۸/۱ انجام شد. برای برازش مدل‌های جهت تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی از نرم‌افزار Sigma plot 12.5 و برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل ۲۰۱۹ استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر دما و تنش خشکی بر صفات جوانه‌زنی (درصد و سرعت جوانه‌زنی)

براساس نتایج آزمایش، تأثیر دما، پتانسیل آب و اثر متقابل آن‌ها بر خصوصیات جوانه‌زنی شمعدانی وحشی معنی‌دار ($P \le 0.0001$) بود (جدول ۱). بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۸ درصد) شمعدانی وحشی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و پتانسیل اسمزی صفر مشاهده شد که با دمای ۱۵ درجه اختلاف معنی‌دار آماری نداشت (شکل ۱). کمترین درصد جوانه‌زنی (۵ درصد) نیز در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و پتانسیل اسمزی ۰/۸- مگاپاسکال حاصل شد. در دمای ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد در تمام پتانسیل‌های اسمزی درصد جوانه‌زنی متوقف شد (شکل ۱). در پتانسیل اسمزی ۱- مگاپاسکال، در هیچکدام از دماها، جوانه‌زنی مشاهده نشد (شکل ۱). نتایج تحقیقات بر روی علف‌هرز تلخه بیان (*Sophora alopecuroides* L.) نشان داد که این علف‌هرز تا تنش خشکی ۰/۶- مگاپاسکال دارای جوانه‌زنی مشابه شاهد، اما با افزایش خشکی درصد جوانه‌زنی از ۷۰ درصد به ۳۲ درصد در تنش خشکی ۱- مگاپاسکال رسید (Nosrati *et al.*, 2017). به طور کلی براساس مطالعات انجام شده، دمای مناسب جوانه‌زنی برای بیشتر بذرها بین ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد، حداکثر دما برای بیشتر گونه‌ها بین ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد است. هر چند در درجه حرارت‌های بالاتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد عمل جوانه‌زنی در بذرها متوقف می‌شود (Hejazi, 1994). در خصوص توقف جوانه‌زنی در دماهای بالاتر، این احتمال وجود دارد که در دماهای بالاتر فعالیت های متابولیکی بذر از جمله فعالیت آنزیم‌های مربوط به جوانه‌زنی متوقف گردد (Taassob-Shirazi *et al.*, 2013). همچنین اعتقاد بر این است که توقف جوانه‌زنی در دمای حداکثر، می‌تواند بدلیل تغییر در

پروتئین‌های ضروری جوانه‌زنی باشد (Copeland & Mc Donald, 1995).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات دما و پتانسیل آب بر درصد و سرعت جوانه‌زنی شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*)

Table 1- Analysis of variance the effect of temperature and water potential on the percentage and germination rate of Herb-robert *Geranium robertianum*

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of square	
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate
دما Temperature	7	1835.18**	51.60**
خشکی Drought	5	11836.6**	23.57**
دما × خشکی Temperature× Drought	35	1113.6**	3.15**
خطا Error	144	15.8	0.041
کل Total	191		
ضریب تغییر C.V (%)		22.76	19.54

** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

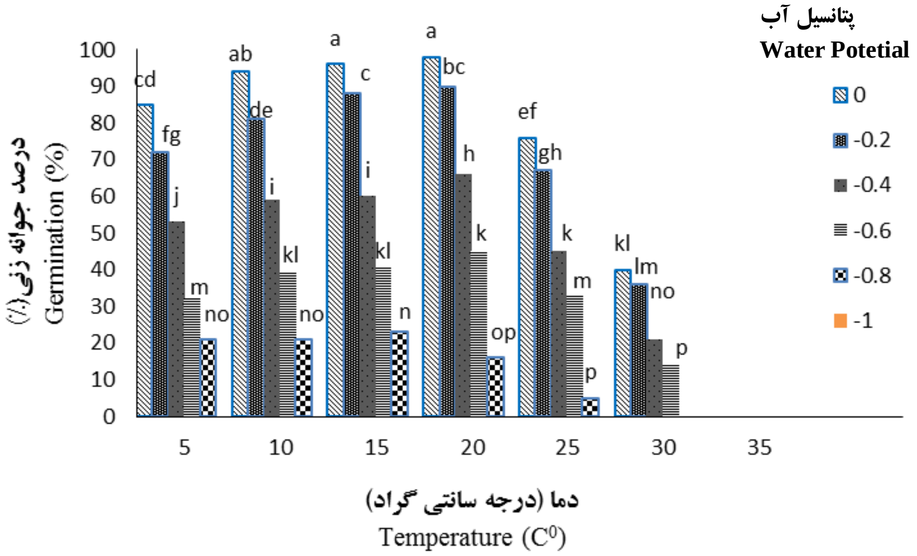
** significant difference at 1% level

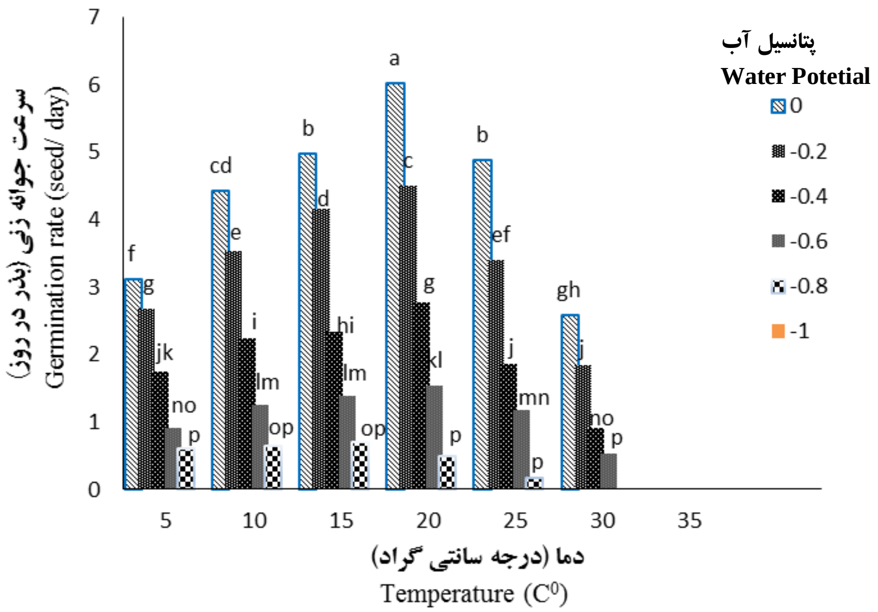
نتایج تحقیق دیانت (Diayanat, 2018) بر روی تاج خروس سبز (*Amaranthue viridis* L.) و تاج خروس خوابیده (*Amaranthus blitoides* S.Watson) نشان داد که تاج خروس خوابیده در پتانسیل ۱- مگاپاسکال، ۹/۲۵ درصد ولی تاج خروس سبز قادر به جوانه‌زنی نبود. این مهم نشان‌دهنده تحمل بالاتر تنش خشکی در تاج خروس خوابیده است. نامبردگان گزارش کردند که با توجه به تحمل بالاتر تاج خروس خوابیده به تنش خشکی، احتمالاً پتانسیل تهاجم بیشتری نیز نسبت به تاج خروس سبز به مناطق خشک دارد. در گزارشی دیگر جوانه‌زنی خاکشیر تلخ (*Sisymbrium irio*) تا پتانسیل اسمزی ۱/۲- مگاپاسکال ادامه داشت (Ray *et al.*, 2005). نتایج مطالعه چجارا و همکاران (Chejara *et al.*, 2008) بر روی *Hyparrhenia hirta* نشان داد که جوانه‌زنی بذور در پتانسیل اسمزی ۰/۵۵- مگاپاسکال و بیشتر از آن متوقف شد. به‌طوری‌که در پتانسیل اسمزی ۰/۳۷- مگاپاسکال به ۵۰ درصد کاهش یافت. کاهش درصد جوانه‌زنی در پی افزایش پتانسیل اسمزی محیط‌کشت در بذور گیاهان مختلف توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است (Ashraf & Harris, 2004; Chachalis & Reddy, 2000; Hamayun *et al.*, 2010). در مطالعه‌ای بیشترین درصد جوانه‌زنی بذر نیلوفرپیچ (*Ipomoea lacunose* L.) در دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Oliveira & Norsworthy, 2006). در تحقیق دیگر مشاهده کردند که بیشترین درصد جوانه‌زنی در گونه‌ای ساق ترشک (*Rumex obtusifolius*) در محدوده دمایی ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد بوده است (Riemens Scheepens *et al.*, 2004). در کنجد شیطانی (*Cleome viscosa* L.) نیز بیشترین درصد جوانه‌زنی در پتانسیل‌های ۰/۴- تا ۱- مگاپاسکال، در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (Shirdel *et al.*, 2016).

نتایج نشان داد که بیشترین سرعت جوانه‌زنی شمعدانی وحشی (۶/۰۱ بذر در روز) در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و عدم تنش خشکی (آب مقطر) مشاهده شد که اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها داشت (شکل ۱). کمترین سرعت جوانه‌زنی (۰/۱۶ بذر در روز) نیز در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و پتانسیل اسمزی ۰/۸- مگاپاسکال مشاهده شد (شکل ۱). با توجه به نتایج آزمایش، سرعت جوانه‌زنی با افزایش دما از ۵ درجه به ۲۰ درجه سانتی‌گراد روند افزایشی و از دمای ۲۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد روند کاهشی داشت (شکل ۱). در مطالعه‌ای بر روی *Medicago scutellata* L. گزارش شد که بذرهای این گیاه در دمای کم‌تر از دمای مطلوب (۲۲/۲۲ درجه سانتی‌گراد)، جوانه‌زنی خود را دیرتر شروع می‌کنند و در دماهای بیشتر از دمای مطلوب، دیرتر جوانه‌زنی خود را به پایان می رسانند (Mahmoodi *et al.*, 2008). نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که در گیاهان مختلف با نزدیک شدن به دمای مطلوب، حداکثر جوانه‌زنی افزایش و با فاصله

گرفتن از آن، حداکثر جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Zahed *et al.*, 2013). در گل گندم زرد (*Centaurea solstitialis*) نیز سرعت جوانه‌زنی نهایی با افزایش تنش خشکی از ۰/۴- مگاپاسکال به ۰/۶- مگاپاسکال، از ۱۳/۴۹ به ۳ بذر در روز کاهش یافته است (Zare *et al.*, 2021).

تنش خشکی قابلیت دسترسی به آب را کاهش می‌دهد و اثر نامطلوبی بر درصد و سرعت جوانه‌زنی خواهد داشت. علت کاهش سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی را می‌توان به کاهش سرعت فعالیت‌های متابولیکی بذر، کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها، در اثر اختلال در جذب آب توسط بذر نسبت داد، در نتیجه مدت زمان خروج ریشه‌چه از بذر افزایش یافته و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Khakshor Moghadam *et al.*, 2011).



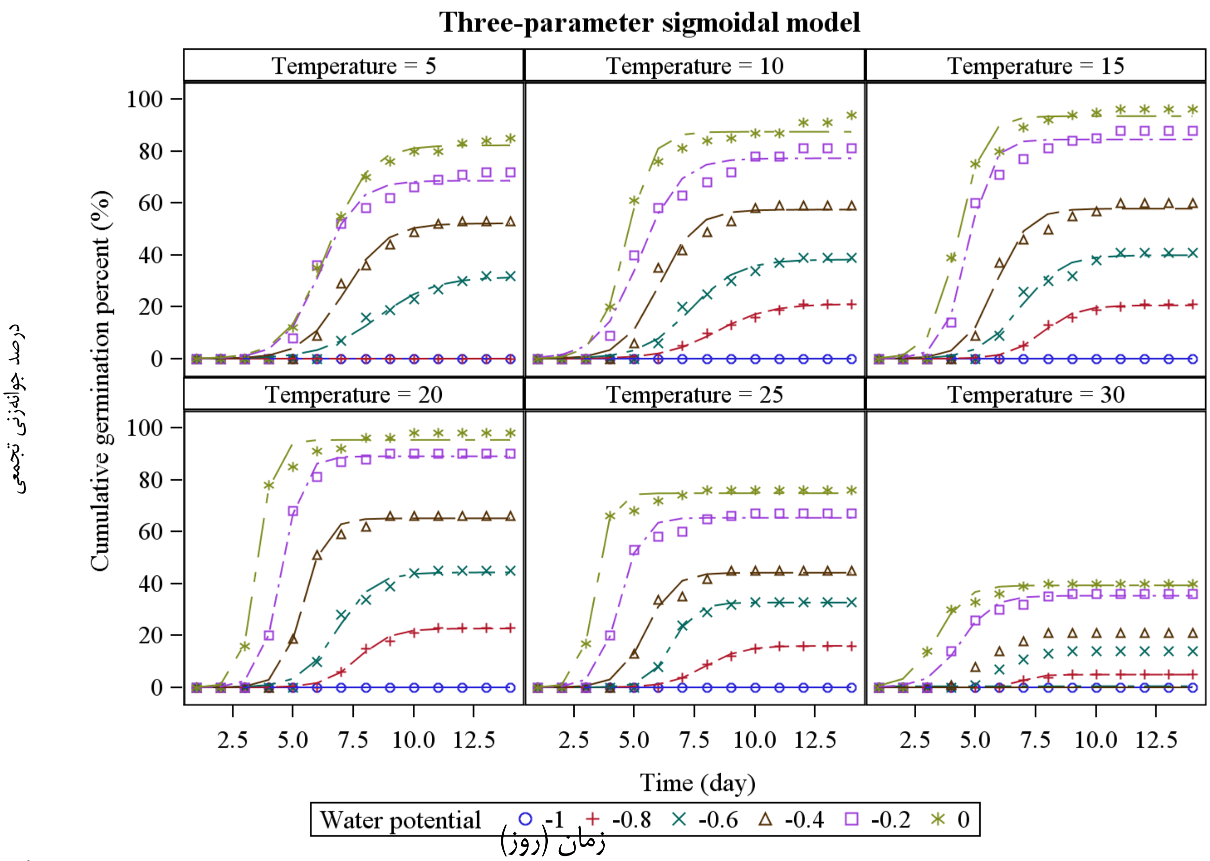


شکل ۱- اثر دما و پتانسیل آب بر درصد و سرعت جوانه‌زنی شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*)

Figure 1- Effect of temperature and water potential on the germination percentage and germination rate of Herb-robert (*Geranium robertianum*)

براساس مطالعه‌ای بر روی علف‌هرز مهاجم خربزه وحشی (*Cucumis melo*) با کاهش پتانسیل آب، سرعت و درصد جوانه‌زنی کاهش یافت (Sohrabi *et al.*, 2011). بدین‌صورت که، سرعت و درصد جوانه‌زنی خربزه وحشی در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و بیشتر از آن کاهش یافت. از یک طرف، در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و تنش خشکی ۰/۶- مگاپاسکال، بیشترین سرعت و درصد جوانه‌زنی مشاهده شده است. در حالی‌که در دماهای ۲۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد و خشکی ۰/۲- مگاپاسکال، درصد و سرعت جوانه‌زنی کمترین میزان جوانه‌زنی را نشان دادند. کازرونی منفرد و همکاران (Kazerooni-Monfared *et al.*, 2013) در مطالعه‌ای به بررسی اثر دما و پتانسیل اسمزی برجوانه‌زنی گل جالیز مصری (*Orobanche aegyptica*) انجام دادند، گزارش کردند که با کاهش پتانسیل اسمزی، درصد جوانه‌زنی و دامنه دمایی مطلوب جوانه‌زنی بذور گل جالیز مصری به طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین، کاهش پتانسیل اسمزی موجب تأخیر در شروع، متوسط و حداکثر زمان جوانه‌زنی شد. در مطالعه‌ای دیگر درصد جوانه‌زنی گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) تا پتانسیل ۰/۷۵- مگاپاسکال تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت و پس از آن روند کاهشی نشان داد و سرعت جوانه‌زنی آن نیز تا پتانسیل ۰/۵- مگاپاسکال تغییر معنی‌داری نداشته است (Rahimi & Kafi, 2009).

تکاسی و همکاران (Takasi *et al.*, 2009) در مطالعات خود روی کاهوی وحشی (*Lactuca serriola*) بیان کردند که با کاهش پتانسیل آب، درصد جوانه‌زنی در همه دماها کاهش یافته است. همچنین، نتایج آن‌ها نشان داد که با کاهش پتانسیل آب، دامنه دمایی که این گونه قادر به جوانه‌زنی می‌باشد نیز کاهش می‌یابد. نتایج تحقیق کازرونی منفرد و همکاران (Kazerooni-Monfared *et al.*, 2013) نیز نشان داد که با کاهش پتانسیل آب از صفر به ۱- مگاپاسکال، دامنه دمایی جوانه‌زنی بذر گل جالیز مصری از ۴۴ درجه سانتی‌گراد به ۲۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. نامبردگان دریافتند که دمای حداکثر درصد جوانه‌زنی گل جالیز با کاهش پتانسیل آب، کاهش یافت و از ۳۵ درجه سانتی‌گراد در پتانسیل صفر به ۳۰ درجه سانتی‌گراد در پتانسیل ۱- مگاپاسکال رسید.



شکل ۲- برازش مدل رگرسیون سه پارامتره لجستیک به روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی شمعدانی وحشی پتانسیل آب (*Geranium r*...

Figure 2- Fitting the logistic three-parameter egression model to the cumulative germination trend of *Geranium robertianum*

جدول ۲- اثر دما و خشکی بر روند درصد جوانه‌زنی تجمعی شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*) و پارامترهای حاصل از برازش مدل لجستیکی سه پارامتره

Table 2- Effect of temperature and water potential on the cumulative germination percentage of *Geranium robertianum* and parameters resulted from the three-parameter logistic model

پتانسیل آب **Water potential (Mpa)**	دما **Temperature (C^0)**	جوانه‌زنی نهایی **Final germination (%)**	زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه زنی **Time to reach 50 % of the germination (Day)**	شیب **Slope**	**P_{value}**	ضریب تبیین **R^2**
0	5	82.13 (1.056)	6.39 (0/072)	0.84 (0/062)	0.001	0.95
	10	87.34(1.376)	4.63 (0/084)	0.54 (0/071)	0.002	0.93
	15	93.33 (1.571)	4.27 (0/091)	0.53 (0/079)	0.001	0.96
	20	95.23 (1.194)	3.52 (0/063)	0.33 (0/041)	0.005	0.94
	25	74.69 (0.744)	3.38 (0/050)	0.31 (0/033)	0.001	0.95
	30	39.24 (0.635)	3.41 (0/095)	0.59 (0/082)	0.002	0.95
	35	0	0	0		
	40	0	0	0		
-0.2	5	68.507(1.540)	6/150(0.123)	0.75 (0.107)	0.001	0.96
	10	77.136(1.901)	5/206(0.149)	0.819(0.129)	0.001	0.94
	15	84.365(1.531)	4/684(0.092)	0/490(0.078)	0.005	0.04
	20	88.916(0.693)	4/528(0.038)	0/431(0.030)	0.005	0.95
	25	65.255(0. 937)	4/387(0.073)	0/457(0.059)	0.003	0.95
	30	35.273(0.629)	4/407(0.103)	0/638(0.089)	0.001	0.96
	35	0	0	0		
	40	0	0	0		
-0.4	5	52.10 (1.174)	6.39 (0. 120)	0.84 (0.102)	0.001	0.93
	10	57.37 (1.510)	6.05 (0.144)	0.73 (0/125)	0.001	0.94
	15	57.76 (1.288)	5.86 (0.118)	0. 61 (0/103)	0.005	0.95
	20	65.04 (0.682)	5.43 (0.050)	0.46 (0/041)	0.005	0.93
	25	44.13 (0.907)	5.50 (0.107)	0.57 (0/091)	0.003	0.94
	30	22.61 (0.765)	5.70(0.23)	0.56 (0/0432)	0.001	0.96
	35	0	0	0		
	40	0	0	0		
-0.6	5	31.527(1.222)	8.48 (0.196)	8.48 (0.160)	0.005	0.95
	10	38.176(1.055)	7.34 (0.150)	0.98 (0.128)	0.005	0.95
	15	39.825(1.202)	6.88 (0.162)	0.82 (0.139)	0.001	0.04
	20	44.255(0.893)	6.85(0.104)	0.73 (0.090)	0.001	0.94
	25	32.631(0.325)	6.55 (0.045)	0.48 (0.037)	0.003	0.93
	30	20.143(0.321)	6.53 (0.0321)	0.41 (0.030)	0.001	0.93
	35	0	0	0		
	40	0	0	0		
-0.8	5	0	0	0		
	10	21.07 (0.612)	8.42 (0.145)	0.76 (0.079)	0.001	0.93
	15	20.54(0.397)	7.80 (0.908)	0.71 (0.078)	0.005	0.94
	20	22.64 (0.438)	7.71 (0.0901)	0.68 (0.077)	0.002	0.93
	25	15.99 (0.260)	7.98(0./773)	0.76 (0.066)	0.001	0.96
	30	4.92 (0.101)	6.91 (0.078)	0.38 (0.083)	0.002	0.96
	35	0	0	0		
	40	0	0	0		

*در پتانسیل اسمزی ۱- مگاپاسکال در هیچ یک از دماها، جوانه‌زنی مشاهده نشد. اعداد داخل پرانتز، خطای معیار میانگین هستند.

*There was no germination at water potential of -1 Mpa in none of temperatures. Numbers in the parenthesis are the standard error of mean.

روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی شمعدانی وحشی

نتایج نشان داد که مدل سه پارامتره لجستیک برازش قابل قبولی به روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی شمعدانی وحشی در طی زمان برای دماها و پتانسیل‌های مختلف داشت (شکل ۲).

بررسی پارامترهای این مدل نشان داد که در پتانسیل‌های مختلف آب، حداکثر جوانه‌زنی شمعدانی وحشی در محدوده دمایی ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. نتایج نشان داد که، در هر پتانسیل اسمزی، با افزایش دما، زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، با افزایش پتانسیل اسمزی، این زمان افزایش می‌یابد که بیانگر کاهش سرعت جوانه‌زنی می باشد. به‌طور کلی، زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی تا پتانسیل‌های ۰/۴- مگاپاسکال از ۶ روز شروع و به ۳ روز کاهش یافت. در حالی‌که در پتانسیل‌های بالاتر (۰/۶- و ۰/۸- مگاپاسکال) در محدوده ۶ تا ۸ روز متغیر است (شکل ۲). این نتایج بیانگر این است که در محدوده دمایی ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی گراد در هر پتانسیل آب، قدرت جوانه‌زنی شمعدانی وحشی افزایش می‌یابد. براساس نتایج این آزمایش، در پتانسیل اسمزی ۱- مگاپاسکال هیچ جوانه‌زنی رخ نداده است (جدول ۲).

زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی (بیانگر سرعت جوانه‌زنی) نیز با افزایش پتانسیل آب، افزایش یافت (جدول ۲). به‌عبارت دیگر، با افزایش تنش خشکی، جوانه‌زنی در زمان‌های (روز) دیرتر رخ داد که به معنی کاهش سرعت جوانه‌زنی می‌باشد. براساس نتایج حاصل، در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد با افزایش پتانسیل آب از صفر به ۰/۸- مگاپاسکال، این شاخص به‌ترتیب از ۴/۶۳ روز به ۸/۴۲ روز رسید (جدول ۲). در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد شاخص مذکور به‌ترتیب از ۳/۵۲ به ۷/۷۱ روز افزایش یافت. به‌عبارتی سرعت جوانه‌زنی شمعدانی وحشی در محدوده دماهای بهینه جوانه‌زنی، افزایش یافته است. افزایش زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی تحت تأثیر تنش آب در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (Sabouri-Rad *et al.*, 2013; Shirdel *et al.*, 2016). همچنین مقایسه رفتار جوانه‌زنی شمعدانی وحشی در هر پتانسیل آب نشان داد که با افزایش دما تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد، زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. به‌عبارت دیگر، با افزایش دما تحت پتانسیل آب، جوانه‌زنی سریع تر رخ داده است. این نتایج همسو با نتایج مطالعات دیانت (Diayanat, 2018) است.

در مطالعه‌ای دیگر رفتار جوانه‌زنی علف‌هرز کنجد شیطانی (*Cleome viscosa* L.) (از علف‌های‌هرز مشکل‌ساز مزراع سویای استان گلستان) تحت اثر دما و پتانسیل اسمزی مورد بررسی قرار گرفت (Shirdel *et al.*, 2016). نتایج آن‌ها نشان داد که در دامنه دمایی مورد بررسی (۲۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد) با افزایش پتانسیل اسمزی علاوه بر کاهش قابل توجه درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی (زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی) کاهش یافت. همچنین، در نتایج آن‌ها، با منفی‌تر شدن پتانسیل آب، محدوده دمایی که این علف‌هرز قادر به جوانه‌زنی بود، کاهش یافت.

دماهای کاردینال جوانه‌زنی شمعدانی وحشی

براساس برازش مدل دندانه‌ای، دماهای کمینه، بهینه اول، بهینه دوم، و بیشینه شمعدانی وحشی در پتانسیل صفر (عدم تنش اسمزی) به‌ترتیب ۱/۱۲، ۱۸/۸۳، ۲۲/۷۶ و ۳۵/۰۹ درجه سانتی‌گراد برآورد شدند (شکل ۳ و جدول ۳).

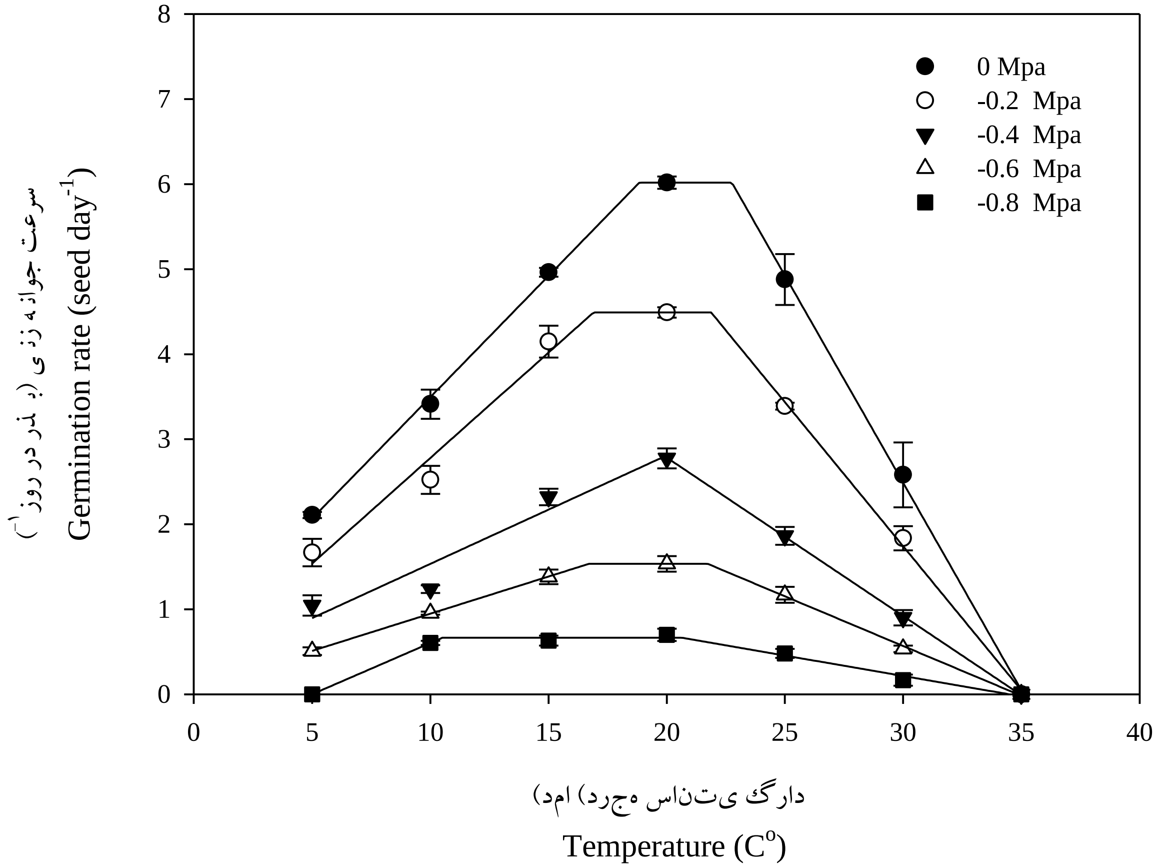
جدول ۳- دماهای کاردینال جوانه‌زنی شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*) براساس مدل دندانه‌ای در پتانسیل‌های مختلف آب

Table 3- Cardinal temperatures of *Geranium robertianum* germination based on the dent-like model in different water potentials

پتانسیل آب Water potential (Mpa)	دمای کمینه Base temperature	دمای بهینه اول Temperature of Optimum 1	دمای بهینه دوم Temperature of Optimum 2	دمای بیشینه Ceiling temperature	R^2_{adj} Adjusted R^2
0	1.12 (0.32)	13.83 (0.37)	22.76 (0.41)	35.09 (0.37)	0.99
−0.2	1.73 (0.22)	6.90 (0.28)	21.88 (0.42)	35.13 (0.28)	0.98
−0.4	2.13 (0.37)	19.92 (0.17)	20.05 (0.25)	35.70 (0.12)	0.97
−0.6	2.98 (0.41)	16.70 (0.36)	21.73 (0.29)	34.28 (0.26)	0.99
−0.8	4.96 (0.28)	10.56 (0.34)	20.63 (0.33)	34.48 (0.44)	0.99

اعداد داخل پرانتزها، خطای معیار میانگین می‌باشند.

Numbers in parenthesizes are the standard error of the mean



شکل ۳- برازش مدل دندانه‌ای برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*) در سطوح مختلف پتانسیل اسمزی

Figure 3- Fitting the dent-like model to determining the cardinal temperatures of *Geranium robertianum* at various water potential

مطالعات در این ارتباط نشان از اختلاف معنی‌داری بین دماهای کاردینال جوانه‌زنی گیاهان مختلف براساس مدل‌های مختلف رگرسیونی دارد. برای مثال، در مطالعات حسینی و همکاران (Hoseini *et al.*, 2008)، مدل دندانه مانند برای پیش‌بینی جوانه‌زنی ازمک (*Cardaria draba* L.)، جودره (*Hordeum spontaneum* Koch.) و جو موشی (*Hordeum murinum* L.) کارایی بهتری داشته است. عدالت و کاظمینی (Edalat & Kazemeini, 2013) دمای پایه، مطلوب و سقف گونه ای خاکشیر (*Sisymbrium altissimum*) را با استفاده از مدل بتا بترتیب ۴/۸، ۸/۶ و ۱۱/۷ درجه سانتی‌گراد گزارش نمودند. نژاد حسن (Nejadhasan, 2013) نیز دمای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی منداب (*Eruca sativa* Mill) را با استفاده از مدل بتا به‌ترتیب صفر، ۳۰ و ۳۸/۵ درجه سانتی‌گراد برآورد نمودند. قادری‌فر و همکاران (Ghaderifar *et al.*, 2012) از مدل دندان مانند برای برآورد دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر چاودار (*Secale cereale*) استفاده کردند و دمای پایه، مطلوب پایینی، مطلوب بالایی و سقف این گیاه را به‌ترتیب ۳/۲۸، ۲۵، ۳۴/۵۱ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. پورطوسی و همکاران (Poortousi *et al.*, 2008) نیز دماهای کاردینال برای گیاه سلمه تره (*Chenopodium album*) را به‌ترتیب ۴/۲، ۲۶ و ۳۹/۵ درجه سانتی‌گراد گزارش کرده است. در مطالعه‌ای دیگر، بهترین مدل برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی آویشن خراسانی (*Thymus transcaspicus* Kloko) مدل ۵ پارامتری بتا و خطوط متقاطع برای دو توده بذری گزارش شده است (Tabrizi *et al.*, 2007). مرادی و همکاران (Moradi *et al.*, 2015) در بررسی تعیین دماهای کاردینال علف‌هرز خارشتر (*Alhaji pseudalhagi*) به این نتیجه دست یافتند که در بین مدل‌های برازش داده شده (خطوط متقاطع، چندجمله‌ای

درجه دوم و ۵ پارامتری بتا)، مدل ۵ پارامتری بتا بهترین مدل بود. در نتایج آن‌ها دماهای کمینه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی خارشتر به‌ترتیب در دامنه دمایی (۸/۸-۷/۲)، (۳۰/۶-۲۷/۵) و (۵۰/۵-۴۲) درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. در تحقیق دیگری نیز مدل‌های دندان مانند، مدل خطوط متقاطع، ۴ پارامتره بتا و ۵ پارامتری بتا را برای پیش‌بینی جوانه‌زنی اویارسلام بذری (*Cyperus difformis*) با دقت قابل قبولی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Derakhshan & Gherekhloo, 2013). براساس مطالعه نامبردگان بین مدل‌های دندان‌مانند و دو تکه‌ای، اختلافی در برآورد دمای پایه مشاهده نشد اما مدل ۴ پارامتره بتا برآورد بسیار کمتری از دمای پایه داشت. آن‌ها دمای بیشینه اویارسلام را بین ۴۵/۰۳-۴۴/۹۲ درجه سانتی‌گراد برآورد کردند. به‌منظور تعیین دماهای کاردینال از دو مدل تکه‌ای و چندجمله‌ای درجه دو برای پیش‌بینی جوانه‌زنی مارگریت (*Chrysanthemum maximum*) مورد استفاده قرار گرفته است (Hashemi *et al.*, 2016). با توجه به نتایج آن‌ها، دمای پایه، بهینه و بیشینه مارگریت به‌ترتیب (۱ تا ۳ درجه سانتی‌گراد)، و (۱۹ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد) و (۴۳ تا ۵۹ درجه سانتی‌گراد) گزارش شد و مدل دو تکه‌ای نسبت به مدل چندجمله‌ای درجه دوم مدل مناسب‌تری بود و پیش‌بینی بهتری را نسبت به مدل درجه دوم دارد. درخشان و قرخلو (Derakhshan & Gherekhloo, 2013) نیز مدل دندان مانند را به عنوان مدل برتر در برآورد روند جوانه‌زنی بذر علف قناری (*Phalaris minor*) گزارش نمودند و دماهای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی ۴/۶۹، ۲۲/۶، ۲۹/۶۲ و ۳۸/۱۳ درجه سانتی‌گراد برآورد کردند.

در مطالعه‌ای دماهای کاردینال جوانه‌زنی (دمای کمینه، بهینه و بیشینه) بی تی راخ (*Galium aparine* L.) و خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) به‌عنوان دو علف‌هرز زمستانه مهم مزارع گندم و کلزای استان گلستان، به‌ترتیب ۵/۳، ۹/۷ و ۱۱/۶ درجه سانتی گراد و ۴/۸، ۸/۶ و ۱۱/۷ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Hajiabaee *et al.*, 2015). مقایسه این نتایج، با دماهای کاردینال شمعدانی وحشی به‌عنوان یکی دیگر از علف‌هرز زمستانه مزارع کلزا و گندم، نشان از تفاوت قابل توجهی دارد. به‌عبارت دیگر، جوانه‌زنی شمعدانی وحشی زودتر شروع می‌شود اما در دماهای بالاتر، دیرتر به اوج (بهینه) می‌رسد و دیرتر نیز کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج مذکور، نظر به اینکه دماهای بهینه جوانه‌زنی دو علف‌هرز بی تی راخ و خردل وحشی کمتر از شمعدانی وحشی است، لذا زودتر از شمعدانی وحشی در مزارع ظهور پیدا می‌کنند. از طرف دیگر، کنترل دو علف هرز بی تی راخ و خردل وحشی با هر روشی و براساس اوج جوانه‌زنی آن‌ها، به‌دلیل بالا بودن دماهای بهینه شمعدانی وحشی، این علف‌هرز، غالبیت می‌یابد، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش پتانسیل آب (از صفر تا ۰/۸- مگاپاسکال)، دمای کمینه جوانه‌زنی از ۱/۱۲ به ۴/۹۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت (جدول ۳). به‌عبارت دیگر با افزایش تنش خشکی، به دمای بیشتری برای تحریک جوانه‌زنی شمعدانی وحشی لازم است. همچنین، در همان محدوده پتانسیل آب، دمای بهینه اول جوانه‌زنی از ۱۸/۸۳ به ۱۰/۵۱ و دمای بهینه دوم جوانه‌زنی از ۲۲/۷۶ به ۲۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد تغییر یافت (جدول ۳). به‌عبارت دیگر، دمای بهینه اول و دوم جوانه‌زنی به‌ترتیب افزایش و کاهش یافته است. این تغییرات به منزله کاهش دامنه دمایی مطلوب جوانه‌زنی شمعدانی وحشی تحت تأثیر تنش خشکی می باشد. دمای بیشینه جوانه‌زنی نیز در دامنه پتانسیل‌های بررسی شده (صفر تا ۰/۸- مگاپاسکال) از ۳۵/۰۹ به ۳۴/۴۸ درجه سانتی‌گراد، کاهش جزئی نشان داده است (جدول ۳). از این رو، به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که، تنش خشکی بیشتر بر روی دمای کمینه و بهینه جوانه‌زنی شمعدانی وحشی اثرگذار بوده است. تحلیل کلی نتایج حاکی از آن است که تا پتانسیل‌های متوسط (۰/۶- مگاپاسکال) بالاترین سرعت جوانه‌زنی در محدوده دمایی ۱۷ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد و در بالاترین پتانسیل (۰/۸- مگاپاسکال) در محدوده دمایی ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی گراد اتفاق افتاده است (جدول ۳).

نتایج سایر تحقیقات نیز حاکی از اثر معنی‌دار پتانسیل آب بر تغییرات دماهای کاردینال جوانه‌زنی دارد. به‌طور مثال، نتایج سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2013) بر خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) نشان داده است که با افزایش پتانسیل آب از صفر تا ۰/۶- مگاپاسکال دمای کمینه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی به‌ترتیب از ۲/۸۹- تا ۱/۹۱، ۲۳/۱۸ تا ۲۳/۱۹ و ۳۵/۰۱ تا ۳۰/۰۰ درجه سانتی گراد تغییر یافته است. براساس گزارش نامبردگان، دمای کمینه و بیشینه خردل وحشی به‌ترتیب افزایش و کاهش و دمای بهینه آن تغییر جزئی یافته است. در تحقیق دیگر، سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2014)، نشان دادند که با افزایش تنش اسمزی تا ۰/۸- مگاپاسکال، دمای کمینه افزایش و دماهای بهینه و بیشینه جوانه‌زنی کلزای خودرو (*Brassica napus* L.) کاهش یافته‌اند. براساس گزارش نامبردگان، دماهای مذکور کلزای خودرو به‌ترتیب از ۲/۰۳ به ۶/۶۸، ۲۶/۹۸ تا ۲۰/۶۶ و ۴۱/۴۸ به ۳۳/۳۳ درجه سانتی گراد تغییر یافته است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش شمعدانی وحشی از دمای کمینه جوانه‌زنی پایینی (۱/۱۲ درجه سانتی‌گراد) برخوردار است لذا در مدیریت آن با استفاده از رهیافت تاریخ کاشت، بایستی تا حد امکان از کاشت زود هنگام کلزا (با دمای بهینه جوانه‌زنی بیشتر) و سایر گیاهان زراعی مشابه آلوده به آن خودداری کرد تا از برتری سبز شدن زودهنگام این علف‌هرز ممانعت شود. با توجه به افزایش درصد جوانه زنی این علف‌هرز در دامنه دمایی ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد و افزایش

سرعت جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، عملیات کنترل این علف‌هرز در این دماها انجام پذیرد. همچنین، نتایج نشان داد که با افزایش تنش اسمزی (از صفر تا ۰/۸- مگاپاسکال)، دماهای کمینه، دمای بهینه اول، دمای بهینه دوم و دمای بیشینه جوانه‌زنی به‌ترتیب از ۱/۱۲ تا ۴/۹۶، ۱۸/۸۳ تا ۱۰/۵۱، ۲۲/۷۶ تا ۲۰/۶۳ و ۳۵/۰۹ تا ۳۴/۴۸ درجه سانتی‌گراد تغییر یافت. به‌عبارتی، با افزایش تنش خشکی، محدوده دمایی مطلوب برای جوانه‌زنی کاهش یافته است. از این رو، با توجه با کاهش جوانه‌زنی و افزایش دمای کمینه جوانه‌زنی تحت تنش‌های اسمزی، استفاده از ارقام گیاهان زراعی متحمل به خشکی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. به‌طور کلی، شمعدانی وحشی در محدوده دمایی ۱۷ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد از تحمل بیشتری به تنش‌های خشکی متوسط (تا ۰/۶- مگاپاسکال) برخوردار است و با افزایش تنش خشکی، در دماهای کمتر (۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد) متحمل است و پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از این نتایج در راستای امکان مدیریت شمعدانی وحشی توجه شود.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد بابت حمایت مالی از این تحقیق، تقدیر و تشکر می‌شود.

References

1. Alvarado, V.Y., & Bradford, K.J. (2002). A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant, Cell and Environment*, *25*(8), 1061–1069. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00894.x
2. Ashraf, M., & Harris, P. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, *166*(1), 3–16. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.10.024
3. Bradford, K.J. (2002). Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, *50*(2), 248–260. https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050
4. Buhler, D.D. (2000). Theoretical and practice challenges to an IPM approach to weed management. *Journal of Weed Science*, *48*(3), 274-280. https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0274:TAPCTA]2.0.CO;2
5. Chachalis, D., & Reddy, K.N. (2000). Factors affecting *Campsis radicans* seed germination and seedling emergence. *Weed Science*, *48*(2), 212–216. https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048
6. Chauhan, B.S., Gill, G., & Preston, C. (2006). Factors affecting seed germination of annual sowthistle (*Sonchus olevaceus*) in southern Australia. *Journal of Weed Science*, *54*, 854-860. https://doi.org/10.1614/WS-06-047R.1
7. Chejara, V.K., Kristiansen, P., Whalley, R.D.B., Sindel, B.M., & Nadolny, C. (2008). Factors affecting germination of Coolatai grass (*Hyparrhenia hirta*). *Weed Science*, *56*(4), 543–548. https://doi.org/10.1614/ws-07-163.1
8. Copeland, L.O., & McDonald, M.B. (1999). Principles of seed science and technology. In *Springer eBooks*. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1783-2
9. Deng, M., & Cornu, D. (1992). Maturation and germination of walnut somatic embryos. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, *28*(2), 195–202. https://doi.org/10.1007/bf00055517
10. Derakhshan, A., & Gherekhloo, J. (2013). Factors affecting *Cyperus difformis* seed germination and seedling emergence. *Planta Daninha*, *31*(4), 823–832. https://doi.org/10.1590/s0100-83582013000400008
11. Diayanat, M. (2018). Effect of temperature and drought stress on germination of Slender Amaranth (*Amaranthus viridis* L.) and Prostrate Pigweed (*Amaranthus blitoides* S. Watson) seeds. *Journal of Plant Protection*, *31*(4), 690-699. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JPP.V31I4.61569
12. Diayanat, M. (2019). Prediction of cardinal temperature by nonlinear regression models in carrot (*Daucus carota* L.) and its three common weed species. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *8*(1), 175-184. (In Persian with English abstract)
13. Edalat, M., & Kazemeini, S.A. (2013). Estimating cardinal temperatures of tumble mustard (*Sisymbrium altissimum*) and slender foxtail (*Alopecurus myosuroides*) seed germinations. The 5th Iranian Weed Science Congress. Tehran University. Pp: 280-283. (In Persian with English abstract)
14. Ghaderifar, A., Alimagham, S.M., Rezaee Moghadam, H.V., & Haghighi, M. (2012). Effects of environmental factors on germination and emergence of rye crops in wheat fields as wild plant. *Electronic Journal of Crop Production*, *5*(4), 133-121. (In Persian with English abstract)
15. HajiAbaee, H., Rahimian Mashhadi, H., Haqiqi, A., & MohammadAmin Qassaam, M.A. (2015). Assessing the cardinal temperature for the germination of *Galium aparine* L. and *Sinapis arvensis* L. The 6th Iranian weed science congress. Birjand. 21-23 September. P 51-55. (In Persian with English abstract)
16. Hamayun, M., Khan, S., Shinwari, Z.K., Khan, A.L., Ahmad, N., Lee, I., & Pakistan, K. (2010). Effect of polyethylene glycol induced drought stress on physio-hormonal attributes of soybean. *Pakistan Journal of*

Botany, *42*(2), 977–986.

17. Hashemi, A., Barooti, SH., & Tavakol Afshari, R. (2016). Determine the cardinal temperatures of seed germination in *Chrysanthemum maximum*. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *2*, 77-84. (In Persian with English abstract)
18. Hejazi, A. (1994). *Seed technology*. Tehran university press. 345 p. (In Persian with English abstract)
19. Hoseini, M., Mojab, M., & Zamani, Gh. (2012). Evaluation wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.) barley grass (*Hordium murinum* L.) and hoary cress (*Cardaria draba* L.) germination in different temperatures. p. 108. In proceeding 4th Iranian Weed Science. Congress., 6-7 February, 2004. Ahvaz, Iran. (In Persian with English abstract)
20. Jami-Al Ahmadi, M., & Kafi, M. (2007). Cardinal temperatures for germination of Kochia scoparia (L.). *Journal of Arid Environments*, *68*(2), 308–314. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.05.006
21. Kamkar, B., Ahmadi. M., Soltani, A., & Zeinali, E. (2008). Evaluating non-linear regression models to describe response of wheat emergence rate to temperature. *Seed Science and Technology*, *2*, 53-57. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2015.54799
22. Kamkar, B., Al-Alahmadi, M.J., Damghani, A.M., & Villalobos, F.J. (2012). Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds to germinate using non-linear regression models. *Industrial Crops and Products*, *35*(1), 192–198. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.06.033
23. Kazerooni-Monfared, A., Takasi, S., Banaeeian, M., Ghanbari, A., Rahimian Mashadi, M., & Pernilson, K. (2013). Effects of temperature and osmotic potential on the seed germination of *Orobanche aegyptiaca*. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology*, *1*(1), 33-50. (In Persian with English abstract)
24. Keshavarzi , M., Taghipour , E., & Najafian, E. (2013). Morphological study of pollens of some weedy Erodium species, in Iran. The 5th Iranian weed sceince congress. Tehran. September. P 354-356. (In Persian with English abstract)
25. Khakshor Moghadam, Z., lahouti, M., & Ganjali, A. (2011). Effects of drought stress induced by polyethylene glycol on germination and morphophysiological characteristics of Dill (*Anethum graveolens* L.). *Journal of Horticultural Science*, *25*(2), 185-193. (In Persian with English abstract)
26. Kiyani, E. (2014). The effect of some environmental factors on seed germination of morning glory (*Ipomoea* spp.). M.Sc. Thesis. Azad University of Gorgan, Iran. 111 p. (In Persian with English abstract)
27. Maguire, J.D. (1962). Seed of germination – aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Journal of Crop Science*, *2*, 176-177. https://doi.org/10.2135/cropsci1962. 0011183X000200020033x
28. Mahmoodi, A., Soltani, E., & Barani, H. (2008). Germination response to temperature of snail medic (*Medicago scutellata* L.). *Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding*, *1*(1), 54-63. (In Persian with English abstract)
29. Michel, B.E., & Kaufmann, M.R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, *51*(5), 914–916. https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914
30. Moradi, A., Ghanbari, A., Rashedmohasel, M.H., & Izadi darbandi, A. (2015). Determination of the cardinal temperatures of *Alhaji pseudalhagi*. *Journal of Plant Protection*, *29*(2), 283-290. (In Persian with English abstract)
31. Nejadhasan, B. (2013). Effect of some environmental factors on seed germination of Arugula (*Eruca sativa* Mill). M.Sc Thesis on Agronomy, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources. 102 p. (In Persian with English abstract)
32. Nosratti, I., Amiri, S., Bagheri, A., & Chauhan, B.S. (2017). Environmental factors affecting seed germination and seedling emergence of Foxtail Sophora (*Sophora alopecuroides*). *Weed Science*, *66*(1), 71–77. https://doi.org/10.1017/wsc.2017.35
33. Oliveira, M.J., & Norsworthy, J.K. (2006). Pitted morningglory (*Ipomoea lacunosa*) germination and emergence as affected by environmental factors and seeding depth. *Weed Science*, *54*(5), 910–916. https://doi.org/10.1614/ws-06-068r.1.1
34. Poortousi, N., Rashed Mohasel, M.H., & Ezadi Darbandi, E. (2008). Germination characteristics and cardinal temperature of lambsquarter, purselane and crabgrass. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *6*(2), 255-261. (In Persian with English abstract)
35. Rahimi, Z., & Kafi, M. (2009). Effect of different levels of drought on germination characteristics of Purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Journal of Environmental Stresses in Agricultural Science*, *2*(1), 87-91. (In Persian with English abstract)
36. Ray, J., Creamer, R., Schroeder, J., & Murray, L.W. (2005). Moisture and temperature requirements for London rocket (*Sisymbrium irio*) emergence. *Weed Science*, *53*(2), 187–192. https://doi.org/10.1614/ws-04-150r1
37. Riemens Scheepens, P.C., & Vander Weide, R.Y. (2004). Dormancy, germination and emergence of weed seeds,

with emphasis on influence of light. *Plant Research International*, *302*, 1-12.

38. Rizzardi, M.A., Luiz, A.R., Roman, E.S., & Vargas, L. (2009). Effect of cardinal temperature and water potential on morning glory (*Ipomoea triloba*) seed germination. *Planta Daninha*, *27*(1), 13-21. https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000100003
39. Sabouri Rad, S., Kafi, M., Nezami, A., & Bannayan Aval, M. (2012). Study on seed germination behavior of *Kochia scoparia* L. Schard in response to temperature and water potential. *Iranian Journal of Range and Desert Reseach*, *18*(4): 578-592. (In Persian with English abstract)
40. Shirdel, M., Siahmarguee, A., & Yones-Abadi, M. (2016). The effect of temperature and water potential on seed germination of Asian spiderflower (*Cleome viscose* L.): As invasive weed in soybean fields in Golestan province. *Journal of Plant Protection*, *3*(2): 292-303. (In Persian with English abstract)
41. Sohrabi, S., Ghanbari, A., Rashed Mohasel, M.H., Nasiri Mahalati, M., & Gharekhlou, J. (2011). Effect of temperature, drought and salinity on the seed germination of invasive weed wildmelons (*Cucumis melo*). The 4th weed science congress of Iran. Khozestan, Pp: 259-261. (In Persian with English abstract)
42. Sohrabi, S., Gherekhloo, J., & Rashed Mohassel, M.H. (2017). *Plant invasion and invasive weeds of Iran*. Jahad Daneshgahi of Mashhad.
43. Soltani, E., Oveisi, M., Soltani, A., Galeshi, S., Ghaderi-Far, F., & Zeinali, E. (2014). Seed germination modeling of volunteer canola as affected by temperature and water potential: hydrothermal time model. *Weed research Journal*, *6*(1), 23-38. (In Persian with English abstract)
44. Soltani, E., Soltani, A., Galeshi, S., Ghaderi-Far, F., & Zeinali, E. (2013). Seed germination modeling of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) as affected by temperature and water potential: hydrothermal time model. *Journal of Plant Production*, *1*, 19-33. (In Persian with English abstract)
45. Taassob-Shirazi, M., Forouzesh, S., Zare, A., & Rahimian-Mashhsdi, H. (2013). Germination phonology of invasive plant (*Amsinckia menziesii*). The 5th Iranian Weed Science Congress, Tehran University. Pp: 448-451. (In Persian with English abstract)
46. Tabrizi, L., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Rezvani Moghaddam, P. (2007). Germination behaviour of cultivated and natural stand seeds of Khorasan thyme (*Thymus transcaspicus* Klokov) with application of regression models. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *4*(2), 249-257. (In Persian with English abstract)
47. Takasi, S., Al-Ebrahim, M.T., Kazeroni-Monfared, A., & Rashed Mohasel, M.H. (2009). Effect of temperature, light, flooding and plant in depth on germination percentage of wildlettuce weed (*Lactuca serriola*). The 3th Weed Science Congress, Babolsar. Pp: 33-36. (In Persian with English abstract)
48. Torabi, B. (2003). Prediction of physiological development stages in chickpea. M.Sc. thesis in Agronomy. Gorgan University of Agriculture and Natural Sciences. (In Persian with English abstract)
49. Zahed, S., Gherekhloo, J., & Baqrany, N. (2013). Prostrate spurge seed germination response to salinity and drought caused by various concentrations of poly ethylene glycol 6000. The 5th Iranian weed science congress. Tehran. September. P 476-479. (In Persian with English abstract)
50. Zare, A., Deris, F.Z., & Karimi, Z. (2021). Influence of environmental factors on seed germination characteristics of invasive weed yellow starthistle (*Centaurea solstitialis*). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *9*(4), 111-122. (In Persian with English abstract)
51. Zhou, J., Tao, B., Deckard, E.L., & Messersmith, C.G. (2006). Garden huckleberry (*Solanum melanocerasium*) germination, seed survival, and response to herbicides. *Weed Science*, *54*(3), 478–483. https://doi.org/10.1614/ws-05-096r1.1